知识管理论坛 ISSN 2095-5472 CN11-6036/C
Knowledge Management Forum

E-mail: kmf@mail.las.ac.cn
http://www.kmf.ac.cn

【学术探索】

基于关联规则的航空制造业知识管理研究

◎杜江 刘航 白瑀
西安工业大学机电学院 西安 710021

摘要：[目的/意义]针对“中国制造2025”所提出的“强化基础领域标准体系建设”和“大力发展面向制造业的信息技术服务”这两大强化我国工业基础能力的保障措施，根据工业革命新形势下我国航空制造业完成产品研发的实际需求，探讨如何为我国航空制造业提供高质、高效的知识管理信息服务。[方法/过程]从目前我国航空制造领域已有的国家和行业标准文献入手，从显性关联和隐性关联两方面分析航空制造业中标准文献知识元的关联规则，并基于知识元建立航空技术标准的知识关联网络描述模型。[结果/结论]为开展航空制造业信息服务、建立知识层面的知识管理系统及进一步推进航空制造业设计、生产、制造的知识化进程提供良好的技术支持。

关键词：关联规则 航空技术标准 航空制造业 知识管理
分类号：TP182

引用格式：杜江，刘航，白瑀．基于关联规则的航空制造业知识管理研究[J/OL]．知识管理论坛，2019, 4(3): 133-139[引用日期]. http://www.kmf.ac.cn/p/169/.

知识是一种智慧型资源，是企业自主创新的资本，是企业获取竞争优势的利器，在知识经济时代，“淹没于数据，却饥饿于知识”是人们所面临的主要问题，基于知识的工作不仅仅是新兴信息技术公司的特色，而且几乎是所有领域所有组织的特征[1]。知识关联是开展知识活动和进行知识管理的基础。航空技术标准作为航空工业技术的载体，其中蕴含大量的技术知识信息，是记录航空工业设计、生产、制造等过程中所产生知识的重要载体。

在知识经济时代背景下，信息化和智能化已成为现代制造技术的两个重要发展趋势和特征[2]。对航空技术标准的知识管理是发展先进航空制造技术的关键，面向航空工业信息化制造研究知识管理方法具有重要的理论和工程意义。航空工业是一个国家综合国力的体现，对航空制造业的知识管理是发展先进航空制造技术的关键。航空工业是典型的知识密集、技术密集、多学科集成的高科技产业，具有产业链条长、产业关联度高和全球一体化发展等特点，在航空

基金项目：本文系西安工业大学研究生教育教学改革研究基金资助项目“以航空领域国家和行业技术标准信息增值为目标的研究生数字化设计能力培养方法研究”（项目编号：XAGDYJ180224）和陕西省教育厅科研计划基金资助项目“基于.net的机械加工材料异构数据库系统开发”（项目编号：16JK1366）研究成果之一。
作者简介：杜江（ORCID：0000-0003-3164-0070），副教授，博士；刘航（ORCID：0000-0002-1408-7069），硕士研究生，通讯作者，E-mail：921947116@qq.com；白瑀（ORCID: 0000-0003-0464-1916），副教授，博士。
收稿日期：2018-10-10 发表日期：2019-05-10 本文责任编辑：刘远颖



工业生产活动中往往需要大量可靠的知识和信息，因此对知识具有更加迫切的需求。

由于航空工业产品结构复杂、零部件种类繁多数量庞大、制造工艺复杂、材料各异等特点，因此航空工业设计、制造、生产所利用和产生的知识涉及众多领域，且分散在各种存储介质中，航空工业知识的复杂性导致对其进行知识管理极其困难[3]。基于知识元关联规则的航空制造业知识管理模式，为从领域知识层面构建面向航空工业信息化设计、生产、制造的航空技术动态管理系统提供理论和方法基础。基于知识元建立航空技术标准的知识关联网络描述模型，实现知识有效管理、共享和重用，从而有效地对航空技术知识进行管理。这不仅可以使用户快速方便地获取航空技术标准中包含的知识资源，而且可以为航空领域相关技术资源的数字化建设提供新的思路和方向。

随着工业的发展，在数字化信息化环境下，用户不仅仅满足于获取单一的知识内容，更多地要求获取技术解决方案和经过整合分析的技术知识。知识管理系统不再是简单的文献收集、储存和传递，而是基于知识的组织和应用，因此，对于航空技术标准的学习理解，不应停留在其表面知识，而应由表及里，发现其中的知识关联，更多地挖掘其中隐藏的知识[4]。为深度开发航空技术标准，充分利用其价值，首先需要基于标准文献知识单元对其中的知识关联进行分类发掘。

1 航空技术标准关联模型分析

在航空技术标准的知识关联研究中，将标准文献的关联进一步深入到知识元层面，可以使各知识元形成系统的知识关联网络，发现其潜在的逻辑关系，有助于加强对航空技术标准的利用，便于使用者快速、准确地获取技术标准中的技术知识。对于开展航空制造业知识管理与信息增值服务、实现标准文献的知识发现和知识创新具有现实意义。尤其对于工业制造生产过程的开展和决策起到重要的作用。

在客观世界中所有的事物都是存在相互联系的，知识间存在的普遍联系必然会投射到知识载体上。国内已有学者对知识关联进行研究，文庭孝等[5]研究了知识关联的内涵、特征、类型及测度等，陈华为等[6]提出了基于知识关联的产品知识聚类集成模型，周和玉等[7]从信息和认知方面对面向知识创新的知识关联系统进行研究。

标准文献间的知识关联是指各标准文献知识元之间存在的各种关系的总和，具有相互性、普遍性、传递性、隐含性、结构性、累积性等特征[8]。分析知识体系间的关联关系，有利于知识体系的管理。通过对标准文献知识关联的分析与研究，可以更有效地开发和利用知识资源，充分利用知识的价值，使工业生产活动中所运用、积累的技术知识得到充分的利用，有利于新的技术知识的发现和创新，更有效地实现了知识创造、知识组织、知识利用的知识链的过程[9]。

1.1 显性关联

航空制造企业的技术文件作为工业生产活动中技术知识的载体，具有可实现性、公开性和动态性，在标准文献之间中普遍存在相互采用、相互替代、相互修订、相互引用及与技术法规、专利的知识关联关系构成标准文献间的显性关联[10]。标准文献之间的相互采用、相互引用及与技术法规、专利的知识关联关系可用如图 1 所示的引文时序网络表示[11]。对于标准文献的显性关联还可以利用共引关系来表示[12]，两个不相关的标准文献共同引用（采用）同一个技术标准或技术法规、专利时，这种共引关系可以构成共引网络，可以通过该网络反映标准文献内容的显性关联关系。

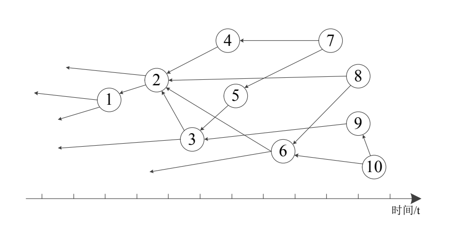


图 1 航空技术标准引文时序网络

知识管理论坛，2019(3):133-139
DOI：10.13266/j.issn.2095-5472.2019.014

1.2 隐性关联

航空制造业中的标准文献间除了互相引用、采用等显性关联，还可以通过文献中描述研究的技术问题等逻辑关系联系在一起，形成未被发现的隐性关联。通过分析发现标准文献间的隐性关联，能够获取大量潜在隐藏的知识，使标准文献创造更大的价值。标准文献间的隐性关联是标准文献间所隐含的逻辑关联关系，其主要是技术维度的知识关联，包括聚类关联、推理关联和技术知识关联。

1.2.1 聚类关联

知识的聚类关联是指将知识对象按其属性归类进行分析整合，知识聚类与知识分类存在反方向的关系，与知识分类不同，知识聚类过程会产生新的知识，文献 [13] 将知识聚类分为 6 种：以学科聚类、以概念聚类、以事聚类、以用聚类、以人聚类和以时空聚类。标准文献的知识聚类主要是以学科聚类、以概念聚类、以用聚类，以此为依据，以某一知识元为基础，围绕该知识元，形成不同维度的知识群。

首先对航空技术标准文本进行预处理，针对纯文本的文本进行分词处理，提取知识元信息，构造术语矩阵，并建立索引标签。笔者采用基于 Lingo 聚类算法对航空技术标准进行聚类关联，可设知识库中有知识元集合 K，这些知识元可划分 x 类。由于 Lingo 算法是基于知识元标签的聚类方法，因此首先选取对应的中心为 X，对于每个知识元 j 所对应某一类的隶属度为 u_{ij}，基于某一知识元属性特征语义，在空间内针对各要素进行相似度计算，因此定义目标函数：

$$J=\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{m}\left\|k_j-x_i\right\|^2 \qquad \text{公式（1）}$$

定义约束条件：

$$\sum_{i=1}^{x}u_{ij}=1,\forall j=1,2,\cdots,n \qquad \text{公式（2）}$$

其语义相关度为：

$$b_k=Sim\left(x_i,x_j\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left(x_i-x_j\right)^2} \qquad \text{公式（3）}$$

其中，约束条件 u_{ij} 介于（0,1）间，X_i 为某一组的聚类中心。将聚类中心 X_i 与某一知识元看作向量空间内的两点，其在向量空间内的距离为 $\overline{d}=\| k_i-x_j\|^2$。因此，对于知识元集合 K 中所包含的知识元在向量空间内的距离可表示为：

$D=$

$$\begin{bmatrix} u_{11}^{m}\left\|k_1-x_1\right\|^2 & \cdots & u_{1j}^{m}\left\|k_j-x_1\right\|^2 & \cdots & u_{1n}^{m}\left\|k_n-x_1\right\|^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{i1}^{m}\left\|k_1-x_i\right\|^2 & \cdots & u_{ij}^{m}\left\|k_j-x_i\right\|^2 & \cdots & u_{1n}^{m}\left\|k_n-x_i\right\|^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{x1}^{m}\left\|k_1-x_x\right\|^2 & \cdots & u_{xj}^{m}\left\|k_j-x_x\right\|^2 & \cdots & u_{xn}^{m}\left\|k_n-x_x\right\|^2 \end{bmatrix}$$

公式（4）

引入加权系数 $T=（t_1,t_2,\cdots,t_n）$，将约束条件及加权系数 T 引入目标函数构造新的目标函数：

$$J=\sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{m}\left\|k_j-x_i\right\|^2+t_1\left(\sum_{i=1}^{x}u_{i1}-1\right)+t_2\left(\sum_{i=1}^{x}u_{i2}-1\right)+\cdots+t_j\left(\sum_{i=1}^{x}u_{ij}-1\right)+\cdots+t_n\left(\sum_{i=1}^{x}u_{in}-1\right) \qquad \text{公式（5）}$$

根据知识元属性的语义标签，将构建的航空领域知识语义空间模型中扩展类与中心类的语义距离进行计算，从不同维度、节点深度、节点处密度等方面考虑其聚类模型构建。其聚类相关度表达式为：

$$c_{ij}=\cos\theta=\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(x_{ki}\cdot x_{kj}\right)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}x_{ki}^2}\cdot\sqrt{\sum_{k=1}^{n}x_{kj}^2}} \qquad \text{公式（6）}$$

因此，对于知识元集合 K 中的知识元的聚类可依据以下步骤进行：

（1）定义知识元的分类，确定分类数 x；

（2）定义在（0,1）间初始化知识元的隶属矩阵 U，使其满足公式（2）；

（3）根据约束条件计算知识元的聚类中心 X_{ij}；

（4）定义阈值，根据公式（4）计算目标函数。如果它小于某个确定的阀值，则停止算法，小于确定阀值的知识元围绕聚类中心 X_{ij} 形成空间

内的聚类关系，依据聚类中心 X_{ij} 所构成的知识元集合最终形成关联关系；

（5）若步骤（3）所计算的结果大于所确定的阀值，则返回步骤（2），再执行迭代计算。以熔模铸造为例，关键词为“熔模铸造”，以用途、适用材料、工艺方法为 3 个聚类中心，从 3 方面构造“熔模铸造”的聚类知识关联模型，如图 2 所示：

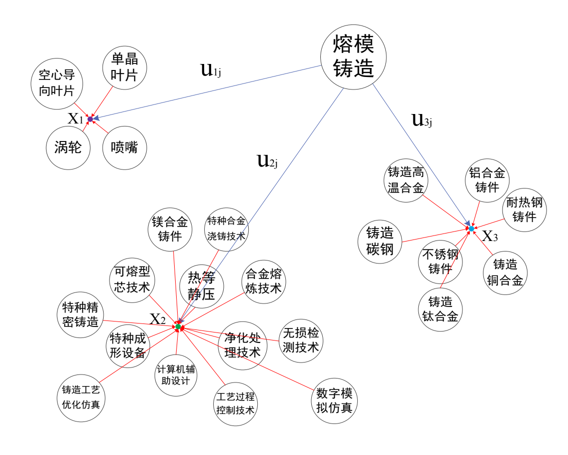


图 2 “熔模铸造”聚类知识关联网络结构模型

1.2.2 技术知识关联

在知识经济时代，用户不仅仅满足于获取标准文献的内容或单一的技术标准，更多地要求获取经过整合的知识和解决方案。知识的关联要以问题为核心，由问题延伸出解决方案的关联模式，为解决该问题，按关系逻辑将解决该问题的知识逐层进行推理，构成解决方案，每个方案又关联出新的知识。

航空技术标准建立在航空工业技术的基础之上，其本身也可视为技术的一部分，是技术水平的体现，是对工业生产活动中所运用到的技术知识的总结与归纳，工业生产活动是一个系统、庞大的工业体系，因此航空技术标准涉及技术知识极为广泛、种类繁多。技术作为知识进化的主体，具有隐含性、复杂性、累积性，技术的运用是一个动态的发展过程，对于任何一项技术，它不仅由其技术自身的内在要素有机地形成技术单元，而且它还与其他技术单元形成具有立体网络结构的技术体系 [14]。

航空工业的生产活动从结构上看是一个相互联系、相互作用的系统。其中所包含的技术互补、新技术与旧技术相兼容、技术之间层层递进等关系构成了标准文献的技术知识关联。标准文献间的技术知识关联可以通过一系列连锁效应由技术单元或某一技术体系的量变或质变形成具有立体网络结构的技术体系，促进整个技术标准文献体系的创新和发展。

航空工业产品的开发设计具有先后顺序，所需要的知识也具有阶段性，每个阶段所需的知识相关联结合构成产品开发所需知识的开发网络，因此要明确需要获取什么样的知识和进行什么样的知识学习。对于一个产品的开发设计所必须掌握的知识包括基础知识、设计研发、工艺装配等。以航空机轮刹车系统设计为例，其所需知识有：①基础知识，包括飞机机轮的性能要求指标、技术条件指标等；②设计研发知识，包括设计规范、设计方法、附件的选用等；③工艺装配知识，包括选用材料、材料测试标准及方案选择、三维模拟装配等。这些不仅涉及知识选择的问题，还涉及知识运用的问题。通过对航空机轮刹车系统设计所需知识及能力的关联归纳构成知识开发网络，便于设计人员有针对性地进行学习，提高设计能力，使设计人员可以获取完整的技术知识结构。

2 航空技术标准知识关联网络描述模型

航空技术标准的知识关联分为显性关联和隐性关联，显性关联是直接存在，可以由文字、图像等直接表达出来，容易被发现与表达，便于编辑整理的具有直观性、系统化的关联关系。隐性关联主要是标准文献中所隐含的具有逻辑关系的技术知识，需要对大量标准文献进行分析归纳整理出来的隐含的、具有抽象性和间接性的关联关系。

本文首要任务是对航空制造业中的技术标准文献中所包含的知识进行分析归纳，找出其

知识管理论坛，2019(3):133–139
DOI：10.13266/j.issn.2095–5472.2019.014

中的关联关系，并直观地表达出其中的关联网络，以便更好地对知识进行共享与利用，实现知识的创新和技术的发展。笔者提出航空技术标准知识关联描述逻辑模型，如图 3 所示：

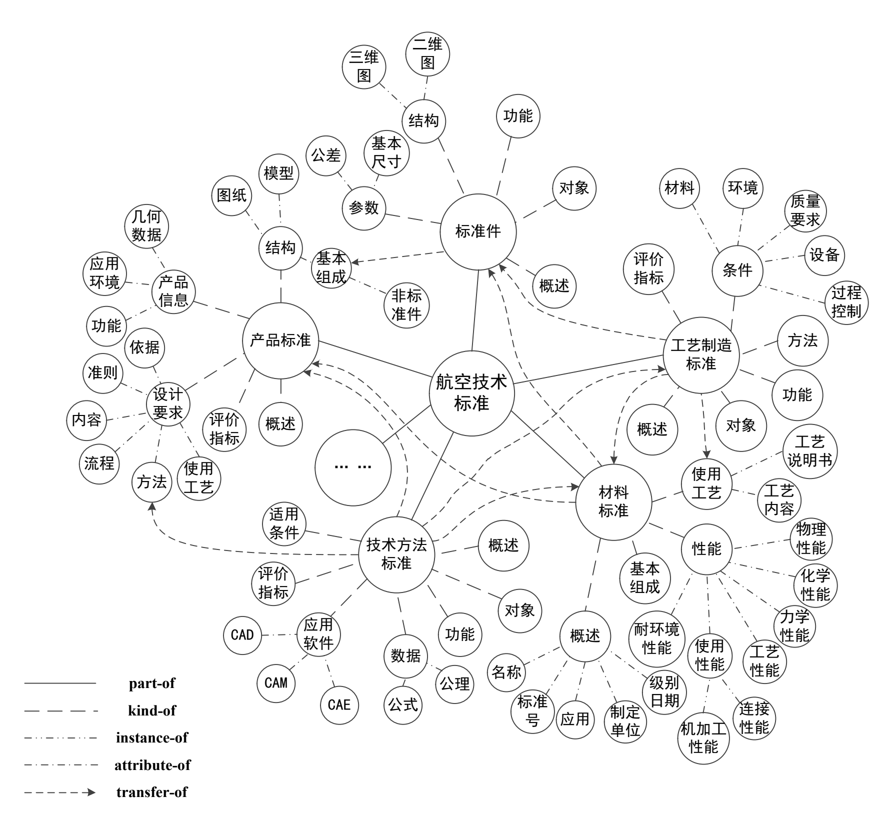


图 3 航空技术标准知识关联描述逻辑模型

对于航空技术标准的关联关系描述，可用描述逻辑来实现面向对象的知识元与知识元层次结构的知识的形式化表达，从而实现知识的推理。其中，最基本的要素是知识元（概念）与关联关系，知识元表示某一领域的知识的子集，关联关系表示知识元之间的关系。一个描述逻辑系统可以用六元组来表示：

$$M=<C,R,EC,RC,Ke,A>$$

其中，*C* 表示航空技术标准的分类，即知识单元的分类；*R* 表示航空技术标准的属性；*EC* 表示显性关联集；*RC* 表示隐性关联集；*Ke* 表示知识元，即构成知识结构的最小元素，最基本的原子概念；*A* 表示 $A \in (E/R)K_i \times (E/R)K_j$ 表示知识关联集合。

由于航空制造业中标准文献数量庞大、内容丰富、包含的技术知识众多，因此航空技术标准的知识关联是一个复杂系统的模型，其中包含显性关联和隐性关联，显性关联和隐性关联之间又相互联系构成航空技术标准关联网络模型。

航空技术标准的关联网络主要以标准文献的分类为基础构建，若干个底层的显性关联可以推出高层的显性关联或隐性关联，其中知识关联所产生的新知识单元相互关联或与其他知识关联结合生成更高层的关联关系。由若干线性结果或树状结构构成网络结构知识关联，反映了航空技术标准知识结构的逻辑关系。

3 实例描述

3.1 数据获取

以已有航空技术标准为依据，发现其中潜在的信息知识，包括结构化知识（文本、数据）与



非结构化知识（多媒体资料），对其进行文本转换、信息优化及知识单元处理，使其成为计算机可读取识别的信息源。

3.2 数据优化

对已收集的信息源中的概念、术语进行抽取，在概念间建立相对应的关联关系，并对有歧义的概念及其关联关系通过建立标注进行人工干预。使概念关系集能融合形成关联网络。

3.3 航空领域知识元关联关系网络构建

由于航空领域知识的密集性导致所构造的航空技术标准间关系的复杂性，航空技术标准关联关系网络包含标准中解析的知识元的类、概念属性、条件约束、描述信息、关系集合、实例信息等，通过知识元的归纳按照相关逻辑关系进行关联网络的构建。图 4 是航空制造业领域内部分航空技术标准按逻辑关系分解、解析后，以类为中心构建关联关系网络实例。

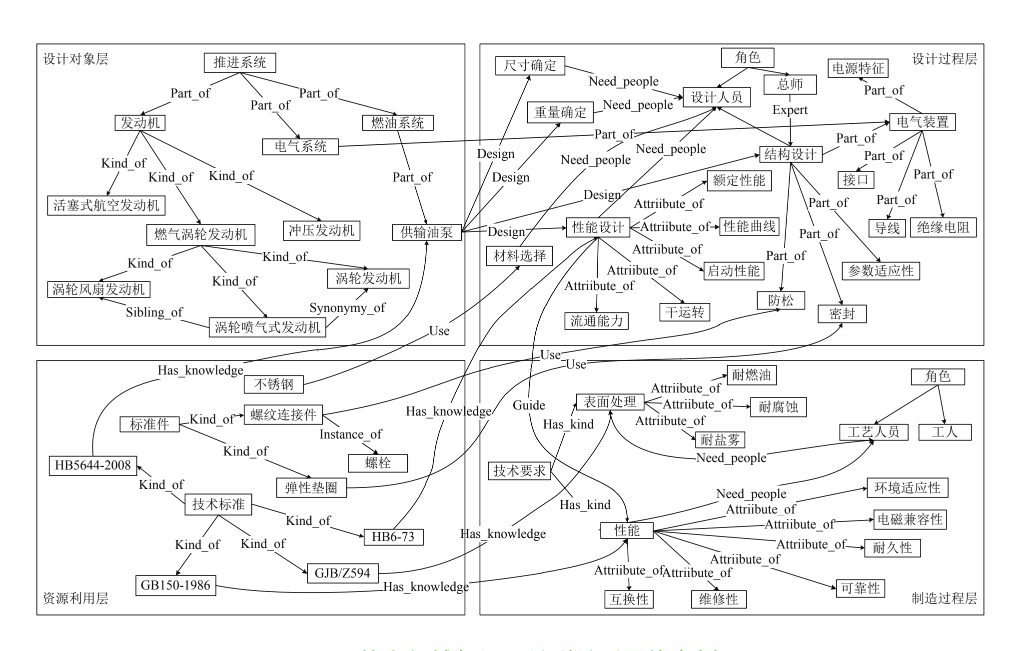


图 4 航空领域知识元关联关系网络实例

航空技术标准的知识关联网络不仅仅是显性关联与隐性关联相互推理构成的网络集合，也包含不同特性的知识集合相互关联组成新的知识结构，其中既有知识单元的数量的改变也有知识结构的质变，两种变化互相促进，形成更加丰富的知识关联结构。由于技术的动态发展性，因此该过程也是动态的螺旋上升的过程，随着技术的改革发展，知识不断增加和变化，知识关联结构也不断延伸和改变。

4 总结

知识关联网络是建立知识模型要解决的基础问题。笔者提出基于关联规则的方法和本体理论，构建一个简单的航空技术标准知识关联网络模型，并对其进行实例验证，为航空技术标准领域内的知识建模和知识交互提供统一的体系，进而为智能检索、知识重用提供了保证。在知识建模之后构建知识库，为实现知识的共享和重用提供技术支持。航空技术标准知识关联的研究在分析航空制造业设计和生产活动所产生的知识内容、发掘知识价值等方面具有至关重要的作用，挖掘技术标准文件中潜在的知识关联，不仅可以从技术标准的知识层面形成良好的信息资源，实现航空资源从数据文本向知识的转换，为发展面向航空工业活动的信息技术服务提供基础保障，还有利于促进知识的

知识管理论坛，2019(3):133–139

DOI：10.13266/j.issn.2095–5472.2019.014

共享、创新与应用，为开展航空制造业知识管理服务提供良好的技术支持，而且可以从信息层面进一步完善现行的航空技术标准，推动工业生产活动向信息化、智能化、服务型制造的方向发展，对进行快速高效的设计制造生产活动起着至关重要的作用，对推进航空制造企业知识管理具有一定的指导意义。

参考文献：

[1] ARSENIJEVIC O, TRIVAN D, PODBREGAR I, et al. Strategic aspect of knowledge management[J]. Organizacija, 2017, 50(2): 163-176.

[2] 周杰韩 , 曾庆良 , 熊光楞 , 等 . 装备制造业集群知识管理模式设计与选择研究 [J]. 制造业自动化 , 2013(16): 69-73.

[3] GRAY P H. A problem-solving perspective on knowledge management practices[J]. Decision support systems, 2001, 31(1): 87-102.

[4] 张健聪 , 肖广财 , 庄树鹏 , 等 . 航天企业知识管理发展现状及趋势分析 [J]. 航天工业管理 , 2018(4): 130-133.

[5] 文庭孝 , 刘晓英 . 知识关联的理论基础研究 [J]. 图书馆 , 2010(4): 9-11.

[6] 陈华为 , 高琦 , 王超宇 . 基于知识关联的产品知识聚类集成模型研究 [J]. 制造业自动化 , 2016(9): 122-125.

[7] 周和玉 , 王华伟 , 郑林 . 面向知识创新的知识关联系统研究 [J]. 情报理论与实践 , 2013(10): 66-68.

[8] 孙羽 , 刘俊庆 , 牛四东 , 等 . 航天产品企业标准结构化知识单元管理方法研究 [J]. 航天工业管理 , 2018(4): 101-104.

[9] 甘克勤 , 计雄飞 . 标准大数据实践（3）——知识关联组织 [J]. 标准科学 , 2016(3): 15-18.

[10] 郭德华 . 标准文献知识链接服务模式研究 [J]. 图书情报工作 , 2011, 55(9): 76-79.

[11] 韩翔宇 , 李彦 , 刘勇 , 等 . 基于本体的航天领域知识组织方法 [J]. 航天工业管理 , 2018(4): 66-69.

[12] 温有奎 , 成鹏 . 基于知识单元间隐含关联的知识发现 [J]. 情报学报 , 2007(5): 653-658.

[13] 蒋永福 . 论知识聚类 [J]. 图书情报工作 , 2000, 44(12): 11-15.

[14] 温新民 , 刘则 , 渊薛静 . 基于技术群、产业群的区域技术创新体系建设 [J]. 科学管理研究 , 2002(3): 1-4.

作者贡献说明：

杜　江：提出理论方法，撰写主要内容；

刘　航：构建航空技术标准知识关联网络描述模型及航空领域知识元关联关系网络；

白　瑀：负责论文写作指导并提出修改意见。

Research on Knowledge Management of Aviation Manufacturing Based on Association Rules

Du Jiang Liu Hang Bai Yu

School of Mechatronic Engineering, Xi’an Technological University, Xi’an 710021

Abstract: [Purpose/significance] The two major measures to strengthen Chinese industrial infrastructure capacity, including the “Strengthening the Basic Domain Standards System” and the “Strengthening the Development of Manufacturing-Oriented Information Technology Services,” were proposed for “Made in China 2025”.Based on this and the actual demand for Chinese aeronautical manufacturing industry to complete product R&D under the new situation of the industrial revolution, this paper try to provide high-quality and efficient knowledge management information services for aviation manufacturing industry in China. **[Method/process]** Starting from the current national and industry standards documents in the field of aviation manufacturing in China. This paper analyzed the association rule of standard literature knowledge element in aviation manufacturing from the aspects of explicit association and invisible association, and based on the knowledge element, it established knowledge association network description model of aviation technical standards. **[Result/conclusion]** To develop aviation manufacturing information services and establish a knowledge-based knowledge management system, and further promote the knowledge-based process of design, production, and manufacturing of aviation manufacturing to provide good technical support.

Keywords: association rules　aviation technical standards　aviation manufacturing　knowledge management